



## Dinâmica da agricultura na Bacia do Alto Paraguai

Alexandre Camargo Coutinho <sup>1</sup>  
Christopher Bishop <sup>2</sup>  
Júlio César Dalla Mora Esquerdo <sup>1</sup>  
Jude Heathcliff Kastens <sup>2</sup>  
John Christopher Brown <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Informática Agropecuária  
Av. André Toselo, 209 - Barão Geraldo  
13083-886 - Campinas, SP, Brasil  
{alex.coutinho, julio.esquerdo}@embrapa.br

<sup>2</sup> University of Kansas  
2101 Constant Ave., Lawrence, KS 66047, United States  
{bish350, jkastens}@ku.edu

<sup>3</sup> University of Kansas  
1475 Jayhawk Blvd., 223, Lawrence, KS 66045, Unites States.  
jcbrown2@ku.edu

**Resumo.** A Bacia do Alto Paraguai-BAP possui aproximadamente 60% do seu território em terras brasileiras e inclui uma das mais importantes áreas naturais alagadas do planeta - bioma Pantanal. Apesar da planície pantaneira representar aproximadamente 40% da área total da BAP, o fato de toda sua superfície contribuir com as águas que sustentam e inundam sazonalmente o Pantanal, atribui ao monitoramento total da BAP uma importância estratégica para a definição de ações e políticas públicas que visem garantir a qualidade de todos seus ecossistemas. A porção da BAP situada no planalto e, portanto, fora dos limites da planície pantaneira, tem sofrido transformações na paisagem, em função das pressões pelo aumento da produção de alimentos e energia. Considerando que os sistemas produtivos relacionados à agricultura intensiva promovem alterações significativas nos sistemas naturais, é fundamental promover seu monitoramento para embasar ações e políticas públicas, cujo foco principal seja garantir a qualidade de recursos hídricos que suportam o bioma Pantanal. Assim, este trabalho teve o objetivo de mapear a dinâmica das áreas de agricultura anual e das áreas de produção de cana-de-açúcar na BAP, no período compreendido entre os anos safra de 2001 e 2013, para identificar os principais polos produtores e sua evolução ao longo deste período, através da classificação digital de séries históricas de imagens do índice de vegetação do sensor MODIS. Os resultados obtidos mostraram que a agricultura intensiva cresceu aproximadamente 40% no período e se difundiu para outras regiões do planalto.

**Palavras-chave:** Pantanal, dinâmica da agricultura, soja, cana-de-açúcar, MODIS.

**Abstract.** Brazil is home to approximately 60% of the Upper Paraguay River Basin (hereafter, by the Portuguese acronym BAP), bringing a responsibility for the conservation of one of the most important wetlands on the planet – the Pantanal. The area holds strategic importance for the management of the water resources and biodiversity of this wetland biome. The Pantanal comprises 40% of the watershed, but the total area contributes to the water that seasonally floods the Pantanal plain, so monitoring what occurs in the area is strategically important in defining public policies that aim to maintain water quality and ecosystem health. The upper reaches of the watershed, outside the wetlands, have undergone steady land change due to pressures to produce food and biofuel crops. Thus, the dynamics of intensive agriculture are important indicators to help define public policy, the main goal of which is to maintain the volume and quality of water resources. Then, this paper aimed to map the dynamic of annual agriculture and sugarcane areas in the BAP, during the 2001 and 2013 cropping years to identify the main production regions and its evolution in this period, using MODIS/NDVI time series classification. The results show that intensive agriculture grew approximately 40% during the study period, and it is spreading to various upland areas.

**Key-words:** Pantanal, wetlands, agriculture dynamics, soybeans, sugarcane, MODIS.

## 1. Introdução

Com aproximadamente 60% do seu território em terras brasileiras, a Bacia do Alto Paraguai (BAP) é uma das mais importantes áreas naturais alagadas do planeta, formando o bioma Pantanal.

Possuindo uma área de aproximadamente 3.600 km<sup>2</sup> em território brasileiro e distribuída entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, a BAP possui uma importância estratégica em função da sua importância em termos de volume de recursos hídricos e pela sua biodiversidade.

Apesar da planície do Pantanal representar apenas uma porção da BAP, suas cheias sazonais são influenciadas pelo regime hídrico de toda a bacia, tornando extremamente importante o monitoramento do uso e cobertura da terra em toda a porção do planalto da BAP, visando a manutenção da qualidade das águas e dos ecossistemas do Pantanal.

Os avanços tecnológicos relacionados aos processos produtivos empregados na agricultura, tais como o surgimento de novos cultivares adaptados a diferentes condições climáticas e com ciclos produtivos variados, aliados ao constante aumento da demanda por alimentos e por energia renovável, têm exercido forte pressão de transformação da paisagem natural, condicionando sua transição para áreas de agricultura de grãos ou de cultura da cana-de-açúcar.

Debates sobre temas como sustentabilidade, segurança alimentar, conservação ambiental e recuperação de áreas degradadas, são frequentemente envolvidos nas abordagens sobre os impactos das mudanças do uso da terra, tanto em contextos tradicionalmente agrícolas, quanto nas regiões de expansão desta atividade.

Análises de mercado e a perspectiva de melhora das tendências dos preços das principais commodities brasileiras, tanto no mercado nacional quanto internacional, estimulam a potencialização dos ganhos com a sua produção e comercialização e, conseqüentemente, promove processos de expansão de áreas e transições do uso das terras nos principais polos de produção agrícola.

No Brasil, a constante pressão pela expansão das áreas produtoras de cana-de-açúcar para atendimento das crescentes demandas por produtos do mercado sucroalcooleiro, tem levado as comunidades nacional e internacional a desenvolverem um complexo debate, centrado nos impactos desta expansão sobre a produção de alimentos e das mudanças do setor agrícola brasileiro frente às demandas mundiais para a produção de energia renovável.

No âmbito da BAP, considerando que a planície pantaneira possui algumas especificidades restritivas das formas de uso e cobertura da terra, esse cenário extremamente dinâmico de transformação da paisagem tem ocorrido predominantemente na região do planalto (Silva & Carlini,

2015).

Além das forças condicionantes das transições entre sistemas naturais e sistemas produtivos intensivos, existem fatores de mercado e de infraestrutura atuando regionalmente e determinando o surgimento e o estabelecimento de polos de produção de alimentos e de energia, em regiões muito específicas do território.

Na área do planalto da BAP essa situação não é diferente e, por mais que a infraestrutura de operação desses diferentes mercados seja implementada de forma inteligente e racional, existem zonas de conflito e de disputa territorial. Em função desse cenário, alguns municípios da BAP apresentam o seu território amplamente ocupado por atividades agrícolas intensivas, enquanto outros permanecem caracterizados pela produção de sistemas agrícolas de subsistência ou de base familiar.

A adoção de séries históricas de dados de índice de vegetação, para discriminar e mapear diferentes formas de uso e cobertura da terra na BAP, tem sido alvo de diversos trabalhos com o objetivo de desenvolver novas metodologias e sistemas de monitoramento (Victória et al., 2009; Antunes et al., 2011; Coutinho et al., 2013).

Considerando o contexto de expansão das atividades agrícolas sobre os sistemas naturais, sobretudo na região do planalto da BAP, é fundamental conhecer e caracterizar com detalhe a dinâmica e as transições entre os principais sistemas produtivos, de forma a subsidiar as ações e a definição de políticas públicas norteadoras da ocupação do território. Tais ações visam garantir a manutenção da qualidade dos sistemas naturais existentes na planície pantaneira, ampliando a sustentabilidade dos sistemas produtivos da região do planalto, sobretudo os relacionados à produção agrícola.

Dessa forma, esse estudo procurou qualificar e caracterizar a dinâmica territorial da agricultura, imposta pelo recente processo de expansão das culturas anuais e de cana-de-açúcar na região do planalto da BAP, identificando os processos de expansão das áreas de agricultura, bem como as mudanças contextuais dos polos de produção de grãos e de cana-de-açúcar.

## 2. Objetivos

O objetivo deste trabalho foi mapear a dinâmica das áreas de agricultura anual e das áreas de produção de cana-de-açúcar, no período compreendido entre os anos safra de 2001 e 2013, para identificar os principais polos produtores e sua evolução ao longo deste período.

## 3. Material e Métodos

Considerando as especificidades territoriais inerentes ao debate entre conservação ambiental e produção agrícola na zona de influência do bioma pantanal, a área de estudo definida para o desenvolvimento deste trabalho foi a Bacia do Alto Paraguai (BAP) (**Figura 1**).

A área da BAP encontra-se dividida entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, com respectivamente 48% e 52% da sua extensão em cada um deles. Em termos das formas de relevo, a região da planície abrange aproximadamente 39% e o planalto 61% do total do território da BAP (Silva e Carlini, 2015).

Apesar de o mapeamento proposto neste trabalho considerar apenas a dinâmica das classes de agricultura anual e de cana-de-açúcar para o período de 2001 a 2013, vários conjuntos de dados foram agregados para prover o mapeamento do uso e cobertura da terra na região do planalto da BAP, com as seguintes classes: floresta, cana de açúcar, pasto, área urbana, corpos d'água e agricultura anual.

Para a discriminação das áreas de floresta e não floresta, foram compilados os dados de cobertura florestal global de 2000 a 2013, publicados por Hansen et al. (2013), disponíveis através

da Internet, em formato matricial e com resolução espacial de 30m.

Os dados referentes às classes área urbana e corpos d'água foram compilados do IBGE e os dados sobre a cultura da cana-de-açúcar foram obtidos do projeto Canasat (Rudorf et al., 2010), disponíveis para os anos de 2005-2013.

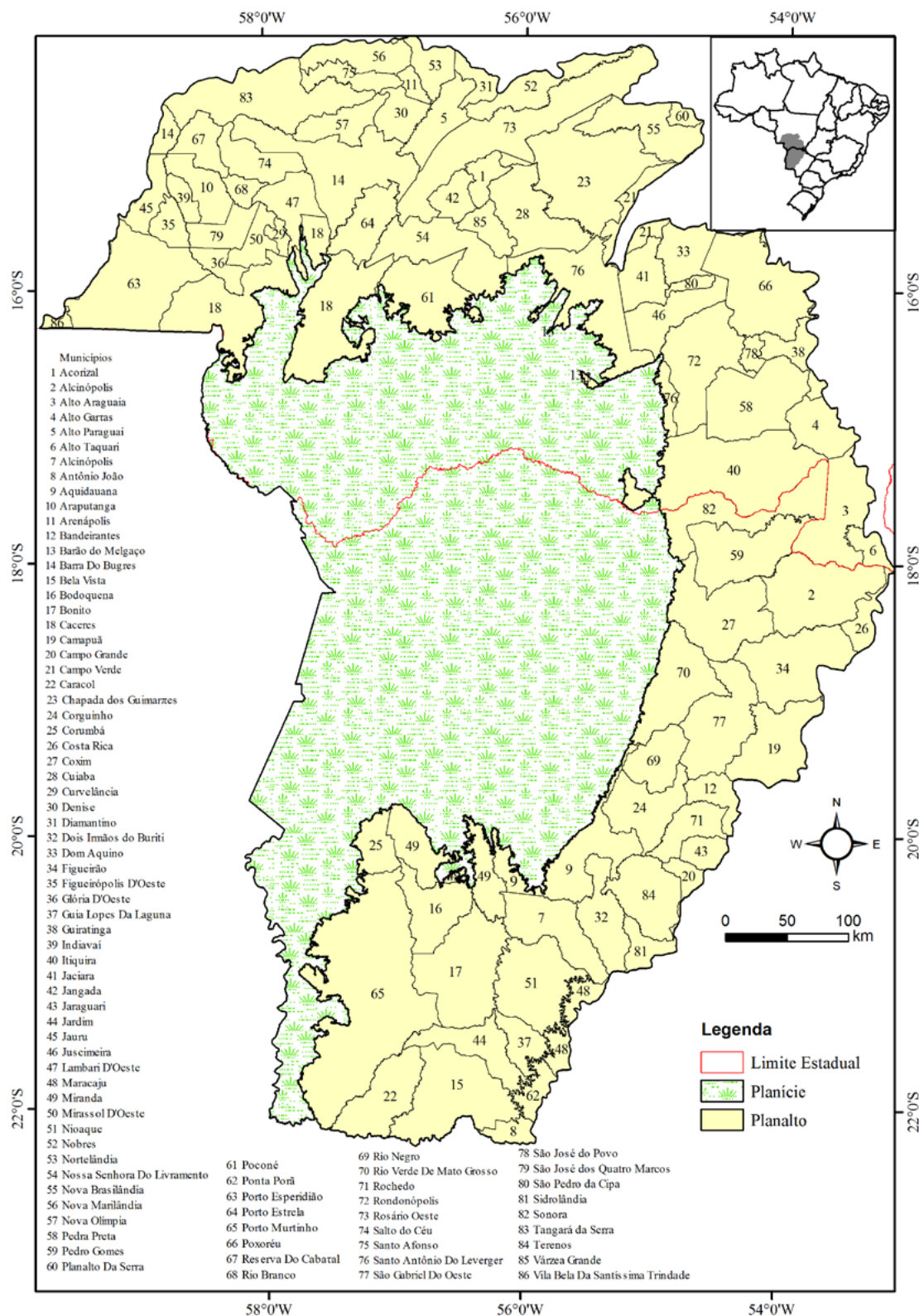


Figura 1. Localização e delimitação da Bacia do Alto Paraguai e identificação dos limites entre

o planalto e a planície, bem como dos municípios pertencentes ao planalto.

Os dados de cana-de-açúcar referentes aos anos anteriores a 2005 foram produzidos por interpretação visual, apoiada na observação do comportamento espectro temporal do índice de vegetação por meio do Sistema de Análise Temporal da Vegetação-SATVeg (Embrapa Informática Agropecuária, 2014) e adoção de um protocolo que diferenciou e mapeou, em um primeiro momento, as classes cana-de-açúcar e “não cana-de-açúcar”.

Em seguida as áreas pertencentes à classe “não cana-de-açúcar” foram classificadas através da aplicação de um modelo aleatório de árvore de decisão, para a discriminação das áreas de pasto e de agricultura anual. As classificações foram conduzidas com base em séries temporais de imagens de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Rouse et al., 1973), geradas pelo sensor MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*). Para cada ano safra analisado foi utilizado um grupo de imagens de NDVI obtidas ao longo de cada ciclo produtivo. As imagens de NDVI/MODIS foram derivadas do produto MOD13Q1, disponibilizadas gratuitamente pelo *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC).

Com base em dados de referência terrestre de 605 pontos, abrangendo 9 ciclos de produção agrícola no Estado de Mato Grosso (2005-2013) e distribuídos pelas principais regiões produtoras do Estado, foi aplicado o modelo de classificação aleatório Random Forest (Breiman, 2001) para diferenciação de cinco classes temáticas, utilizando-se a função “treebagger”, disponível no software MATLAB®. As cinco classes incluíram quatro classes referentes às culturas e associações de culturas anuais (safra e safrinha) e uma classe para as pastagens. A estimativa de precisão global final, obtida pelo modelo através de uma validação cruzada, considerando a capacidade do mesmo distinguir e separar todas as cinco classes temáticas, foi de 79%. No final desse processo, as quatro classes de agricultura anual foram agrupadas e separadas da classe pasto.

Por fim, aos mapas anuais finais, foram sobrepostos os dados vetoriais do Canasat (Rudorf et al., 2010).

#### 4. Resultados e discussão

Com o resultado direto do mapeamento das áreas de agricultura anual e de cana-de-açúcar em todos os anos compreendidos entre 2001 e 2013 no planalto da BAP, foi possível produzir uma série histórica de mapas anuais dessas atividades e identificar a sua dinâmica no espaço e no tempo.

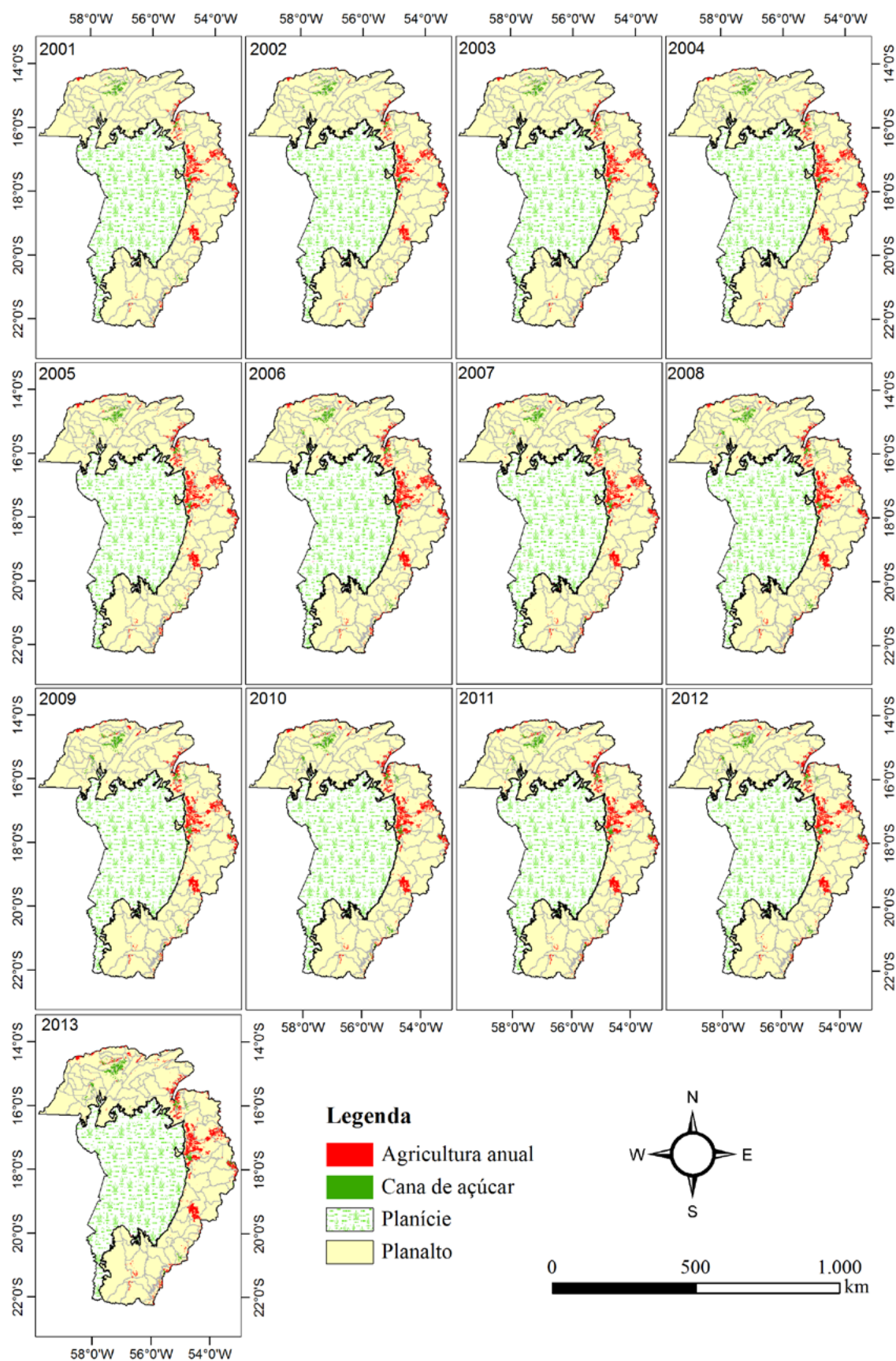
Os mapeamentos anuais das culturas agrícolas de ciclo anual e da cana-de-açúcar são representados pelos conjuntos de pixels MODIS atribuídos a cada uma dessas classes temáticas (**Tabela 1**), limitando as análises numéricas à contabilização dos mesmos, uma vez que mapeamentos de áreas agrícolas baseados nos pixels MODIS apresentam boa correlação com dados oficiais, mas possuem algumas limitações para a sua conversão para unidades de área (Rizzi et al., 2009; Victoria et al., 2012; Brown et al., 2013).

**Tabela 1.** Número de pixels na região do planalto da BAP com agricultura anual e cana-de-açúcar.

ANO	Número De Pixels												
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Agricultura anual	129554	134152	143952	149795	171807	181593	162987	174133	162670	168717	175417	169600	180031
Cana-de-açúcar	29597	29917	29959	32712	32808	33712	37946	41261	41979	41065	42477	41928	43885
Total	159151	164069	173911	182507	204615	215305	200933	215394	204649	209782	217894	211528	223916

Portanto, as análises dos cenários anuais e da dinâmica no espaço e no tempo, apresentadas a seguir, referem-se às suas contribuições, em termos da frequência absoluta e relativa da ocorrência de pixels dessas atividades em cada ano agrícola, bem como sua variação ao longo

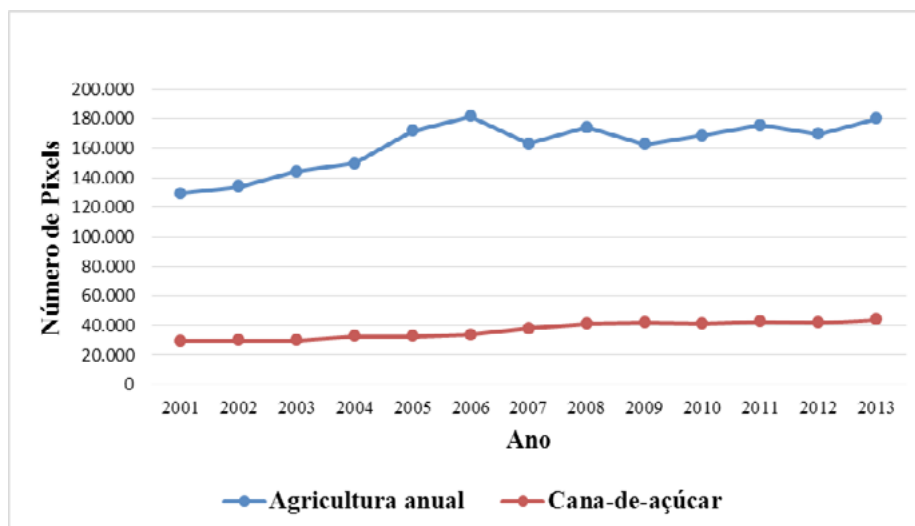
do período abordado (Figura 2).



**Figura 2.** Mapas da agricultura anual e da cana-de-açúcar, na região do planalto da BAP, no

período de 2001 a 2013.

A **Figura 3** apresenta um gráfico no qual se pode perceber que ambas as dinâmicas da área de agricultura anual e de cana-de-açúcar apresentaram taxas de crescimento positivas para o período analisado, ainda que haja alguma variação dessa tendência ao longo do tempo. Enquanto a cana-de-açúcar apresentou um incremento de aproximadamente 48% ao longo da série histórica, a agricultura anual aumentou aproximadamente 39% no mesmo período.



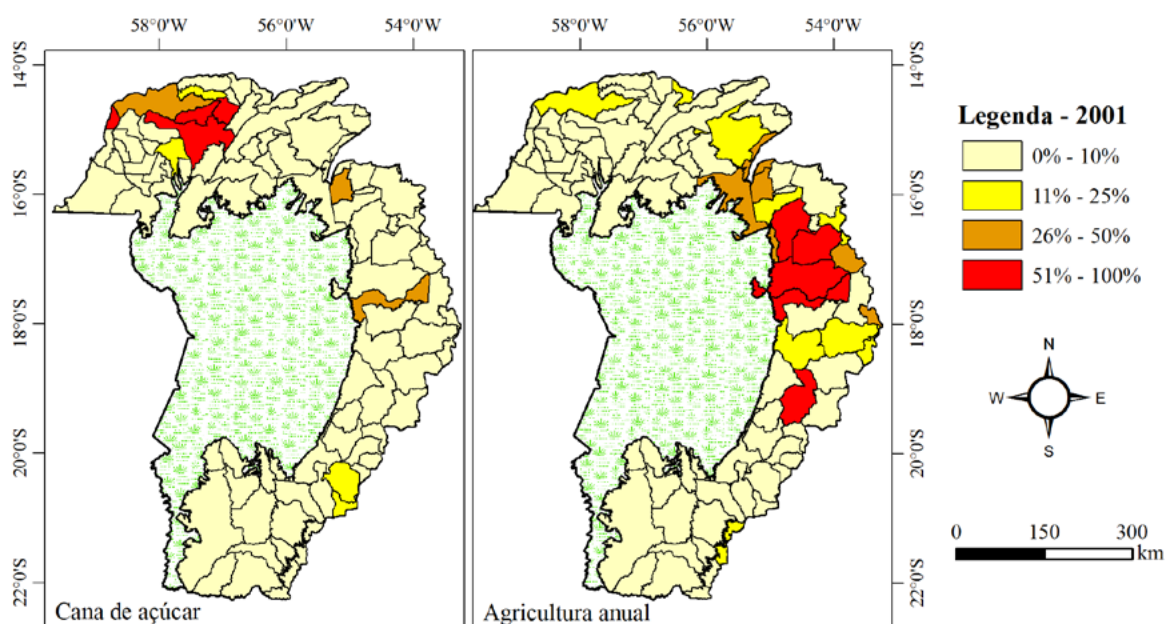
**Figura 3.** Dinâmica das áreas de agricultura anual e de cana-de-açúcar na BAP entre 2001 e 2013.

Apesar de a taxa de crescimento da agricultura anual ter sido notadamente superior à taxa da cana-de-açúcar entre 2001 e 2006, houve uma aparente estabilização das áreas da agricultura intensiva a partir de 2006, as quais que vêm oscilando em valores de crescimento e de retração até 2013 (**Tabela 2**).

**Tabela 2.** Taxas anuais de crescimento da cana-de-açúcar e da agricultura anual.

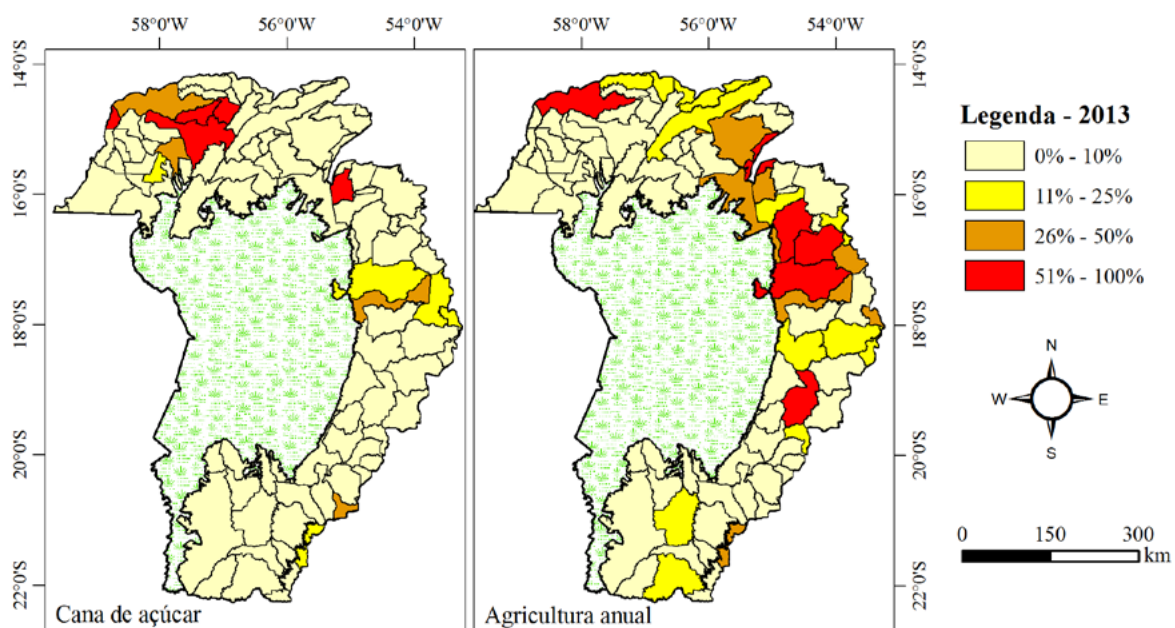
ANO	Taxa de Crescimento											
	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13
Agricultura anual	3,5	7,3	4,1	14,7	5,7	-10,2	6,8	-6,6	3,7	4,0	-3,3	6,2
Cana-de-açúcar	1,1	0,1	9,2	0,3	2,8	12,6	8,7	1,7	-2,2	3,4	-1,3	4,7

A análise espacial sobre a dinâmica da agricultura na região da BAP, durante o período de estudo proposto, mostrou que em 2001 as áreas agrícolas para produção de grãos e de cana-de-açúcar apresentavam uma forte polarização territorial e cada uma ocupava uma região específica e bem delimitada no planalto da BAP. Enquanto 50% da área de produção de cana-de-açúcar estavam fortemente concentradas na porção norte do planalto da BAP, no Estado de Mato Grosso (sobretudo nos municípios de Barra do Bugres, Denise e Nova Olímpia), a área mais importante de produção de grãos, responsável por 50% da área plantada, estava concentrada na porção leste do planalto, nos municípios de Itiquira, Pedra Preta, Rondonópolis (no Estado de Mato Grosso) e Sonora e São Gabriel do Oeste (no Estado de Mato Grosso do Sul), conforme ilustra a **Figura 4**.



**Figura 4.** Frequência acumulada da contribuição dos municípios, em termos da ocorrência da agricultura no planalto da BAP, em 2001.

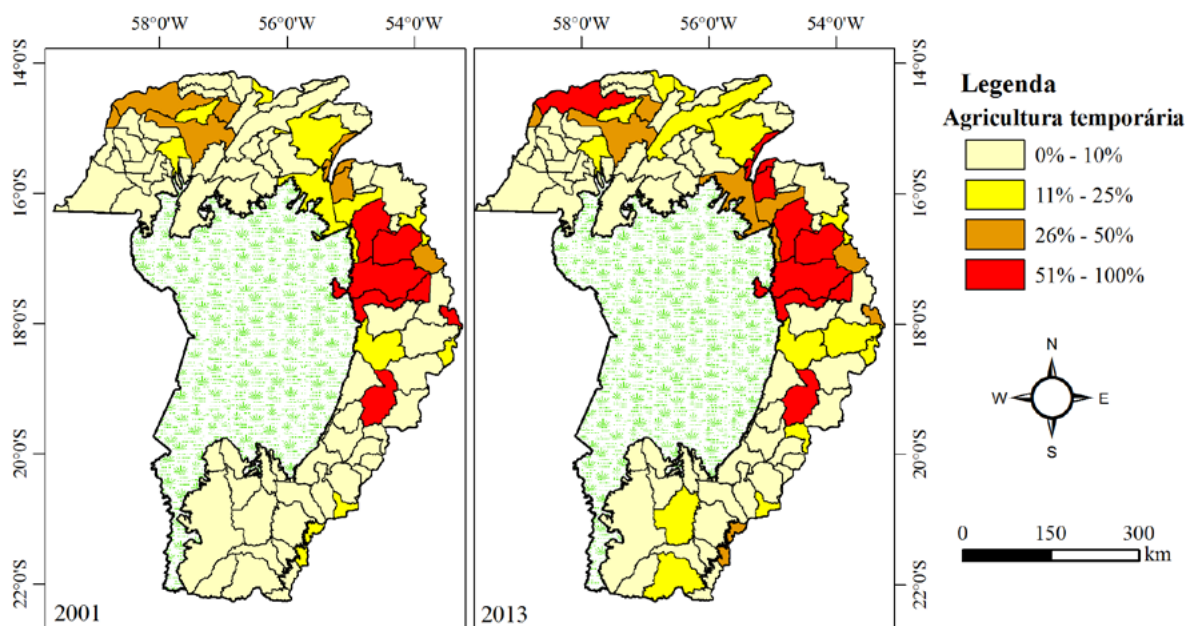
Ao observar a **Figura 5** e compará-la com a situação de 2001, pode-se notar que as áreas mais importantes dos polos produtivos de cana-de-açúcar e de culturas anuais, mantiveram-se ativas e corresponderam a aproximadamente 50% das áreas de cada um desses segmentos agrícolas. Por outro lado, percebeu-se uma significativa expansão das suas áreas de produção para municípios com pouca expressão em 2001, como Lambari D'Oeste, Sidrolândia e Jaciara (no caso da cana-de-açúcar) e Tangará da Serra, Campo Verde e Sonora (no caso da agricultura anual).



**Figura 5.** Frequência acumulada da contribuição dos municípios em termos da ocorrência da agricultura no planalto da BAP, em 2013.



Além desta significativa expansão dos polos de produção, como já mencionado, pode-se perceber, pela dinâmica expressa na **Figura 6**, que as áreas sobrepostas desses dois setores produtivos da agricultura intensiva, em 2001, estavam muito mais confinadas e polarizadas em determinados municípios quando comparados à situação de 2013, na qual se percebe uma disseminação dessas atividades pela região nordeste do planalto da BAP, bem como o surgimento de focos mais importantes em sua porção sul.



**Figura 6.** Frequência acumulada da contribuição dos municípios em termos da ocorrência da agricultura (agricultura anual e cana-de-açúcar) no planalto da BAP, no início e no final da série histórica.

## 5. Conclusões e sugestão

Apesar das dificuldades para obtenção de valores precisos sobre as áreas de produção agrícola, através de processamentos de dados do sensor MODIS, foi possível identificar as principais regiões agrícolas e os polos de produção e promover o monitoramento da sua dinâmica espaço-temporal, com custos operacionais muito reduzidos, e acompanhar as tendências de expansão e retração em um determinado território.

A metodologia utilizada permitiu avaliar a evolução da agricultura intensiva na região do planalto da BAP, evidenciando um processo de expansão entre os anos de 2001 e 2006 e sua estabilização até 2013. No entanto, os resultados globais obtidos para toda o planalto da BAP não traduzem as dinâmicas locais de cada polo de produção, cujas variações espaciais e temporais podem apresentar padrões distintos. Neste sentido, a definição de ações governamentais e a formulação de políticas pública nas escalas regional, municipal e local devem considerar análises de recortes espaciais compatíveis com cada uma delas, a fim de identificar e caracterizar os processos inerentes aos mesmos.

## 6. Referências

Antunes, J. F. G.; Esquerdo, J. C. D. M.; Lamparelli, R. A. C. Monitoring the temporal dynamics of four vegetation cover types from the Pantanal using the wavelet transform applied to a time series of EVI/MODIS data. **Geografia**. Rio Claro. v. 36, Número Especial, p. 173-185. 2011.

- Breiman, L. Random Forests. **Machine Learning**, Springer, v.45, p. 5–32. 2001.
- Brown, J. C.; Kastens, J. H.; Coutinho, A. C.; Victoria, D. de C.; Bisgop, C. R. Classifying multilyear agricultural land use from Mato Grosso using time-series MODIS vegetation index data. **Remote Sensing of Environment**. Elsevier, v.130, p.39-50. 2013.
- Coutinho, A. C.; Esquerdo, J. C. D. M.; Oliveira, L. S. de; Lanza, D. A. Methodology for Systematical mapping of anual crops in Mato Grosso do Sul (Brazil). **Geografia**. Rio Claro. v. 38, Número Especial, p. 45-54. 2013.
- Embrapa Informática Agropecuária. **Sistema de Análise Temporal da Vegetação-SATVeg**. Campinas, 2014. Disponível em < <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>> Acesso em 02 de junho de 2016.
- Hansen, M. C.; Potapov, P. V.; Moore, R.; Hancher, M.; Turubanova, S. A.; Tyukavina, A.; Thau, D.; Stehman, S. V.; Goetz, S., J.; Loveland, T. R.; Kommareddy, A.; Egorov, A.; Chini, L.; Justice, C. O.; Townshend, J. R. G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science** 342, p. 850-853. 2013. Disponível em: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>. Acesso em 02 de junho de 2016.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, 1973. **Proceedings...** Whashington: NASA, 1974, v.1, p.309-317, 1973. Rizzi, R.; Risso, J.; Epiphanyo, R. D. V.; Rudorff, B. F. T.; Formaggio, A. R.; Shimabukuro, Y. E.; Fernandes, S. L. Estimativa da área de soja no Mato Grosso por meio de imagens MODIS. **anais**, XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos. p.387-394. 2009.
- Rudorff, B. F. T.; Aguiar, D. A., Silva; W. F., Sugawara, L. M.; Adami, M.; Moreira, M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**. 2(4): 1057–1076. 2010.
- Silva, J. S. V. da; Carlini, F. J. Vegetation cover of the upper Paraguai basin in Mato Grosso do Sul State: comparison between Pantanal wetland and the plateau. **Geografia**. Rio Claro. v. 40, Número Especial, p. 211-226. 2015.
- Victoria, D. de C.; Paz, A. R.; Coutinho, A.C.; Kastens, J.; Brown, J. C. Cropland area estimates using MODIS NDVI time series in the state of Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v.47, n.9, p.1270-1278. 2012.
- Victoria, D. de C.; Andrade, R. G.; Paz, A. R. da. Série temporal de imagens EVI/MODIS para discriminação de formações vegetais do Pantanal. **Geografia**. Rio Claro. v. 34, Número Especial, p. 721-929. 2009.